



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 40 24 275 A 1**

⑳ Aktenzeichen: P 40 24 275.7  
㉑ Anmeldetag: 31. 7. 90  
㉒ Offenlegungstag: 6. 2. 92

㉓ Int. Cl. 5:  
**G 03 F 7/09**  
G 03 F 7/11  
C 04 B 41/83  
B 05 D 7/14  
H 01 L 21/308  
// F16K 1/34, 3/30,  
F16H 55/06, G01P  
15/125

DE 40 24 275 A 1

㉔ Anmelder:

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, 7500  
Karlsruhe, DE; Bürkert GmbH, 7118 Ingelfingen, DE

㉕ Erfinder:

Kowanz, Bernd, 7515 Linkenheim, DE; Bacher,  
Walter, Dr., 7513 Stutensee, DE; Bley, Peter, Dr.,  
7514 Eggenstein-Leopoldshafen, DE; Harmening,  
Michael, Dr., 7513 Stutensee, DE; Mohr, Jürgen, Dr.,  
7511 Sulzfeld, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉖ Verfahren zur Herstellung von Mikrostrukturen mit bereichsweise unterschiedlicher Strukturhöhe

㉗ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Mikrostrukturen mit bereichsweise unterschiedlicher Strukturhöhe, bei dem

- a) eine Schicht eines gegenüber Röntgenstrahlung empfindlichen Positiv-Resistmaterials unter Verwendung einer Maske mit Röntgenstrahlung partiell bestrahlt wird,
- b) die bestrahlten Bereiche mit Hilfe eines Entwicklers entfernt werden.

Ihr liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung von gestuften Mikrostrukturen vorzuschlagen, das Toleranzen der Stufenhöhe im Mikrometer-Bereich ermöglicht. Darüber hinaus soll eine hohe Lösungsmittelbeständigkeit und gute mechanische Eigenschaften der Mikrostrukturen erzielt werden.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß  
c) die Schicht des Resistmaterials vor Durchführung der Schritte a) und b) auf ihrer der Strahlung zugewandten Seite mit Mikrostrukturen versehen wird.

DE 40 24 275 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Mikrostrukturen mit bereichsweise unterschiedlicher Strukturhöhe gemäß dem Oberbegriff des ersten Patentanspruchs.

Ein solches Verfahren ist aus der DE-PS 36 23 637 bekannt. Bei diesem Verfahren wird eine Schicht eines Positiv-Resistmaterials mit Röntgenlicht partiell bestrahlt, wobei eine Röntgenmaske verwendet wird, die zusätzlich zu einer strukturierten Absorberschicht, die Synchrotronstrahlung weitgehend vollständig absorbiert, mindestens eine weitere strukturierte Absorberschicht trägt, die Synchrotronstrahlung bevorzugt nur in einem Teil des Spektrums absorbiert.

Als Positiv-Resistmaterial wird ein Polymer mit scharfer unterer Grenzdosis verwendet.

In den Bereichen, die nicht durch die strukturierte Absorberschicht abgeschattet werden, erhält der Resist bei der Bestrahlung entlang seiner gesamten Dicke eine Dosis, die höher ist als die untere Grenzdosis des Resistmaterials. In den Bereichen, die durch die strukturierte Absorberschicht abgeschattet werden, erhält der Resist bei der Bestrahlung entlang seiner ganzen Dicke eine Dosis unterhalb der Grenzdosis des Resistmaterials. In den Bereichen, die durch die strukturierte, teilweise absorbierende Absorberschicht abgeschattet werden, wird bei der Bestrahlung nur im oberen Teil des Resists eine Dosis abgelagert, die größer als die untere Grenzdosis des Resistmaterials ist; der untere Teil erhält eine geringere Dosis.

Da der Resist nur an den Stellen löslich wird, die von einer Dosis oberhalb der unteren Grenzdosis getroffen sind, werden Mikrostrukturen mit bereichsweise unterschiedlicher Strukturhöhe erhalten.

Dieses Verfahren erfordert einen Resist, der eine genau definierte Grenzdosis aufweist. Zum anderen müssen die Absorbereigenschaften der Röntgenmaske sorgfältig auf das Resistmaterial eingestellt werden.

Die DE-PS 34 40 110 beschreibt ein anderes Verfahren der eingangs genannten Art für den speziellen Fall säulenförmiger Strukturen mit einem dünnen, längeren und einem dickeren, kurzen Abschnitt.

Dabei wird eine Resistplatte von ca. 0,5 mm Dicke über eine Röntgenmaske mit energiereicher Röntgenstrahlung eines Synchrotrons partiell durchstrahlt in der Weise, daß zylindrische Bereiche mit einem Durchmesser von ca. 30 µm in einem vorgegebenen Rasterabstand r entstehen, deren Löslichkeit gegenüber den unbestrahlten Bereichen der Resistplatte stark erhöht ist. Sodann erfolgt eine weitere partielle Bestrahlung der Resistplatte von einer Seite her im selben Raster r, wobei die Eindringtiefe der Strahlung jedoch geringer ist als die Resistplattenstärke und der Durchmesser der bestrahlten Bereiche ca. 70 µm beträgt, so daß ein dickerer und kürzerer zylindrischer bestrahlter Bereich entsteht. Die derart bestrahlten und löslich gemachten Bereiche werden mit einem beispielsweise in der DE-OS 30 39 110 beschriebenen flüssigen Entwickler entfernt. Dadurch entsteht eine Form mit säulenförmigen Strukturen, die einen dünneren und einen dickeren Abschnitt aufweisen.

Dieses Verfahren läßt sich prinzipiell auf die Herstellung von Mikrostrukturen mit anderen lateralen Konturen und auch mit mehr als zwei unterschiedlichen Strukturhöhen übertragen.

Ein grundsätzliches Problem bei den beiden genannten Verfahren besteht darin, daß bei den derzeit be-

kannten Resistsystemen bei Dosisablagerungen unterhalb der Grenzdosis zwar beim Entwickeln kein Abtrag mehr erfolgt, die mechanischen Eigenschaften und die Lösungsmittelbeständigkeit dieser Bereiche jedoch deutlich schlechter sind. Die Höhe der Strukturen läßt sich nicht mit ausreichender Genauigkeit vorgeben, weil die Schwächung der Strahlung und damit die abgelagerte Dosis mit zunehmender Eindringtiefe nur schwer vorherbestimmbar ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung von gestuften Mikrostrukturen der eingangs genannten Art vorzuschlagen, bei dem die Nachteile der bekannten Verfahren vermieden werden. Das Verfahren soll Toleranzen der Stufenhöhe im Mikrometer-Bereich ermöglichen. Darüber hinaus soll eine hohe Lösungsmittelbeständigkeit und gute mechanische Eigenschaften der Mikrostrukturen erzielt werden.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im Kennzeichen des ersten Patentanspruchs beschriebene Maßnahme gelöst.

Die Unteransprüche geben vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens an.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird beispielhaft anhand der Fig. 1 bis 10 beschrieben.

Die Fig. 1 bis 4 zeigen drei verschiedene Verfahrensvarianten, mit denen die Schicht eines Resistmaterials mit Mikrostrukturen versehen werden kann.

Die Fig. 5 bis 7 zeigen die Herstellung von Mikrostrukturen mit bereichsweise unterschiedlicher Strukturhöhe.

Die Fig. 8 bis 10 illustrieren die Möglichkeiten der Weiterverarbeitung der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Mikrostrukturen.

Wie erwähnt, kann die Schicht eines Resistmaterials nach drei verschiedenen Verfahrensvarianten mit Mikrostrukturen versehen werden.

Die erste Variante ist in den Fig. 1, 2a, 3a und 4a dargestellt.

Auf die Resistschicht 2, die mit einer Grundplatte 1 verbunden ist, wird mit Hilfe eines Mikroabformwerkzeugs 3 eine Kunststoffmikrostruktur im Reaktions- oder Spritzguß abgeformt. Im Abformprozeß werden hierzu die Formnester 3A des Abformwerkzeugs mit Reaktionsharz- oder Formmasse befüllt. Der befüllte Formeinsatz wird anschließend entsprechend Fig. 3a auf die Resistschicht aufgepreßt. Im Verlauf der Prozeßführung, d. h. während der Aushärtung oder der Verfestigung des Kunststoffes, wird eine haftere Verbindung zwischen dem Kunststoff der Mikrostrukturen und der Resistschicht aufgebaut. Durch eine Trennbewegung von Abformwerkzeug und Grundplatte werden die Mikrostrukturen entformt. Man erhält so eine Resistschicht, auf der Mikrostrukturen aus Kunststoff mit definierter Strukturhöhe angeordnet sind (Fig. 4a). Da sichergestellt werden kann, daß die Abformmasse 7 der Mikrostrukturen nicht in die Verbindungsebene zwischen Resist und Kunststoff eindringt, muß der strukturierte Kunststoff 7a nicht notwendigerweise Resisteigenschaften besitzen.

Die zweite Variante ist in den Fig. 1, 2b, 3b und 4b dargestellt.

Diese Variante zur Herstellung von Mikrostrukturen auf der Oberfläche einer Resistschicht besteht darin, daß auf die Resistschicht 2 eine weitere Schicht 5 mit einer fest vorgegebenen Dicke von einigen Mikrometern bis mehrere hundert Mikrometer ganzflächig aufgebracht wird. Diese Schicht wird anschließend im Ver-

lauf eines Abformprozesses durch ein Prägeverfahren (Fig. 3b) mit Hilfe eines Abformwerkzeugs 6 strukturiert. Das Volumen und damit die Dicke der prägbaren Schicht 5 muß hierbei an das Volumen der Formnester 6A angepaßt sein. Nach dem Verfestigen des Kunststoffes werden die Mikrostrukturen durch eine Trennbewegung von Abformwerkzeug 6 und Grundplatte 1 entformt. Man erhält auf diese Weise eine Resistschicht, auf der Mikrostrukturen aus Kunststoff mit definierter Strukturhöhe angeordnet sind (Fig. 4b).

Die zweite Variante wird vorzugsweise dann gewählt, wenn die zu prägende Schicht 5 keine Resisteigenschaften aufweist oder der Resist 2 durch Prägen nicht strukturiert werden kann.

Die dritte Variante ist in den Fig. 1, 2c, 3c und 4c dargestellt.

Kann die Schicht 2 durch Prägen strukturiert werden und verfügt sie über ausreichende Resisteigenschaften, so kann auf die Schicht 5 nach Variante 2 verzichtet werden.

In diesem Fall wird die Schicht 2 entsprechend dicker gewählt und direkt mit Hilfe des Abformwerkzeugs 6 mit Formnestern 6A geprägt.

Vorzugsweise wird eine geeignete Grundplatte 1 verwendet.

Die Herstellung der Mikrostrukturen auf dem Resist durch Prägen (Variante 2 und 3) hat gegenüber dem Reaktions- oder Spritzgußverfahren nach Variante 1 den Vorteil, daß dabei gleichzeitig je nach Notwendigkeit zusätzlich eine elektrisch leitfähige Deckschicht auf den Stirnflächen der Mikrostrukturen angebracht werden kann. Die Einzelheiten dieses besonders vorteilhaften Prägeverfahrens können der Patentanmeldung P 40 10 669.1 entnommen werden.

Eine solche leitfähige Deckschicht verbessert insbesondere das Abformergebnis bei einer nachfolgenden galvanischen Metallabscheidung.

Nach Entformen des Abform- oder Prägewerkzeugs liegt nach allen drei Verfahrensvarianten eine Probe vor, bei der Mikrostrukturen 2A, 5A, 7A auf einer durchgehenden Resistschicht angeordnet sind. Diese Resistschicht ist dabei vorzugsweise mit einer Grundplatte 1 verbunden.

Das Verfahren zur Herstellung der Mikrostrukturen mit bereichsweise unterschiedlicher Strukturhöhe wird anhand der nach Variante 3 erhaltenen, geprägten Resistschicht entsprechend Fig. 4c erläutert.

Gemäß Fig. 5 wird die durch Prägen strukturierte Probe, die auf einer Grundplatte 1 das Resistmaterial 2 mit den Mikrostrukturen 2A aufweist, durch eine Maske mit senkrecht einfallender Synchrotronstrahlung nahezu bestrahlt. Die Maske enthält Bereiche 8, durch die die Synchrotronstrahlung nahezu völlig absorbiert wird.

Die Maske mit den strahlenundurchlässigen Bereichen 8 wird nunmehr oberhalb der Strukturen 2A entsprechend den gewünschten Stufenformen ausgerichtet.

Bestehen die Strukturen 2A nicht aus Resistmaterial, z. B. wenn sie nach Variante 1 hergestellt wurden, können die Strukturen 2A durch die Bereiche 8 abgeschattet werden.

Bestehen die Strukturen 2A jedoch aus Resistmaterial z. B. durch Herstellung nach Variante 3, kann durch geeignete Anordnung der Maskenbereiche 8 auch die Form der Strukturen 2A verändert werden. Auf diese Weise können auch nachträglich noch die mit einem vorhandenen Prägewerkzeug 6 erzeugten Strukturen verändert werden, womit sich eine von der Justierung unabhängige gleichmäßige Form über die gesamte

Strukturhöhe erzielen läßt.

Die Teile 9 des Resistmaterials 2 bzw. 2A, die nicht durch die Maskenbereiche 8 abgeschattet werden, werden nun von Röntgen- oder Synchrotronstrahlung durchstrahlt (Fig. 6) und dabei strahlenchemisch verändert.

Diese Bereiche 9 können in einem geeigneten Lösungsmittel entfernt werden. Nach diesem Prozeßschritt liegen somit gestufte Mikrostrukturen 10 in Kunststoff vor, deren Stufenhöhe genau durch die Dicke der resisttauglichen Schicht definiert ist (Fig. 7). Die Höhe der Strukturen auf dem lithographisch erzeugten Sockel wird durch die Tiefe der Formnester im Abformwerkzeug vorgegeben.

Wird die so erzeugte Kunststoffstruktur z. B. galvanisch mit Metall 11 gefüllt (Fig. 8) und die Resiststruktur nach dem Galvanikschritt weggelöst, ergibt sich eine stufenförmige Metallstruktur (Fig. 9). Verbleiben die erzeugten Metallstrukturen auf der Grundplatte, so lassen sich nach dem erfindungsgemäßen Verfahren überhängende oder aber auch Strukturen in Brückenform herstellen.

Durch Übergalvanisieren der gestuften Resiststrukturen (Fig. 8) können darüber hinaus gestufte Abformwerkzeuge gefertigt werden (Fig. 10), mit denen die beschriebenen Schritte erneut durchgeführt werden können. Man erhält dann nicht nur zweistufige, sondern nach n-maligem Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens n-stufige Strukturen.

Die technischen Einzelheiten der Verfahrensschritte Röntgenlithographie und Abformung können den beiden KfK-Berichten Nr. 3995 "Herstellung von Mikrostrukturen und großem Aspektverhältnis und großer Strukturhöhe mit Synchrotronstrahlung, Galvanoformung und Kunststoffabformung (LIGA-Verfahren)" von E. W. Becker, W. Ehrfeld, P. Hagmann, A. Maner, D. Münchmeyer, Kernforschungszentrum Karlsruhe, November 1985 sowie Nr. 4267 "Untersuchungen zur Herstellung von galvanisierbaren Mikrostrukturen mit extremer Strukturhöhe durch Abformen mit Kunststoff im Reaktionsgießverfahren", Kernforschungszentrum Karlsruhe, Mai 1987, entnommen werden.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich mehrfach gestufte Mikrostrukturen mit Strukturhöhen von mehreren hundert Mikrometern bei lateralen Abmessungen im Mikrometerbereich und Stufenhöhen von wenigen Mikrometern bis mehrere hundert Mikrometer erzeugen. Ein wesentlicher Vorzug des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, daß die Toleranzen der Stufenhöhe im Mikrometerbereich liegen, somit wesentlich kleiner sind als die der bekannten Verfahren.

Durch die Grundplatte 1 (Fig. 1 bis 9) wird die Resistschicht im Bedarfsfall mechanisch verstärkt, so daß die verschiedenen erfindungsgemäßen Verfahrensschritte mit größerer Präzision durchgeführt werden können. Nach der Fertigstellung der mikrostrukturierten Körper wird sie in diesem Fall abgetrennt. Vorzugsweise ist die Grundplatte mit der Resistschicht fest verbunden. Die Grundplatte kann jedoch auch Teil der herzustellenden mikrostrukturierten Körper werden.

Bei der Wahl der Grundplatte wird man den vorgesehenen Verwendungszweck der gestuften Mikrostrukturen berücksichtigen. Außer einem Metall kommen auch die Materialien Keramik oder ein Halbleitermaterial in Frage. Die Grundplatte kann jedoch auch aus einem Kunststoff bestehen.

Beispiele für bevorzugte Anwendungsgebiete der erfindungsgemäß hergestellten Mikrostrukturen sind

Ventilplatten zur Herstellung von Mikroventilen, kapazitive Beschleunigungssensoren, die bezüglich des Platzbedarfs optimiert sind sowie Zahnräder oder Zahnstangen mit zwei unterschiedlichen, übereinander liegenden Zahnkränzen für die Herstellung von Mikrogetrieben. 5

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Mikrostrukturen mit bereichsweise unterschiedlicher Strukturhöhe, bei dem
  - a) eine Schicht eines gegenüber Röntgenstrahlung empfindlichen Positiv-Resistmaterials unter Verwendung einer Maske mit Röntgenstrahlung partiell bestrahlt wird, 15
  - b) die bestrahlten Bereiche mit Hilfe eines Entwicklers entfernt werden,
 dadurch gekennzeichnet, daß
  - c) die Schicht des Resistmaterials vor Durchführung der Schritte a) und b) auf ihrer der Strahlung zugewandten Seite mit Mikrostrukturen versehen wird. 20
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrostrukturen auf der Schicht des Resistmaterials erzeugt werden durch
  - a) Auffüllen der Räume zwischen den Mikrostrukturen eines mikrostrukturierten Abformwerkzeugs mit einem fließfähigen, härtbaren Kunststoff, 30
  - b) Aufpressen des auf diese Weise befüllten Abformwerkzeugs auf die Schicht des Resistmaterials, so daß der Kunststoff zwischen den Mikrostrukturen des Abformwerkzeugs mit der Schicht des Resistmaterials in Kontakt kommt, 35
  - c) Aushärten des Kunststoffs im Abformwerkzeug unter Herstellung einer festen Verbindung zwischen dem Kunststoff und der Schicht des Resistmaterials, 40
  - d) Trennung des Abformwerkzeugs vom mikrostrukturierten Kunststoff und der Schicht des Resistmaterials.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrostrukturen auf der Schicht des Resistmaterials erzeugt werden durch 45
  - a) Herstellen einer festen Verbindung von einer Schicht eines prägbaren Kunststoffs mit der Schicht des Resistmaterials
  - b) Prägen der Schicht des Kunststoffs mit Hilfe eines Mikrostrukturen aufweisenden Abformwerkzeugs in der Weise, daß mindestens ein Teil der Mikrostruktur-Stirnflächen des Abformwerkzeugs die Schicht des Resistmaterials freilegt, 50
  - c) Trennung des Abformwerkzeugs von der mikrostrukturierten Schicht des Kunststoffs und der Schicht des Resistmaterials. 55
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrostrukturen auf der Schicht des Resistmaterials erzeugt werden durch 60
  - a) Herstellen einer dicken, prägbaren Schicht des Resistmaterials, deren Dicke mindestens der Summe aus Höhe der Schicht des Resistmaterials und maximalen Höhe der hierauf herzustellenden Mikrostrukturen entspricht, 65
  - b) Prägen der dicken Schicht des Resistmaterials mit Hilfe eines Mikrostrukturen aufweisen-

den Abformwerkzeugs in der Weise, daß mindestens ein Teil der Mikrostruktur-Stirnflächen soweit in die dicke Schicht eindringen, daß über diesem Teil der Mikrostruktur-Stirnflächen die Schichtdicke des Resistmaterials erhalten wird,

c) Trennung des Abformwerkzeugs von der mikrostrukturierten dicken Schicht des Resistmaterials.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht des Resistmaterials auf der nicht mit Mikrostrukturen zu versiehenden oder versehenen Seite mit einer Grundplatte verbunden wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Grundplatte aus Metall oder Keramik oder Halbleitermaterial oder Kunststoff besteht.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

Fig. 1

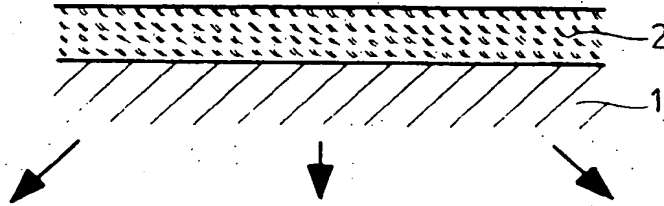


Fig. 2a

Fig. 2b

Fig. 2c

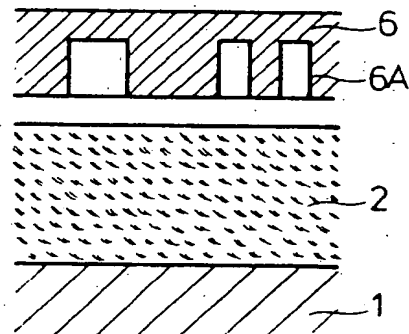
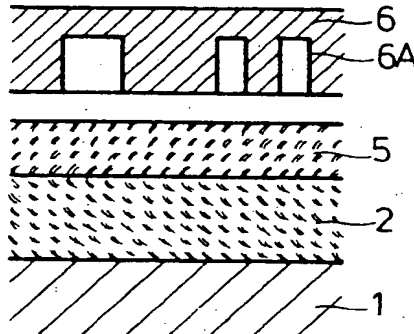
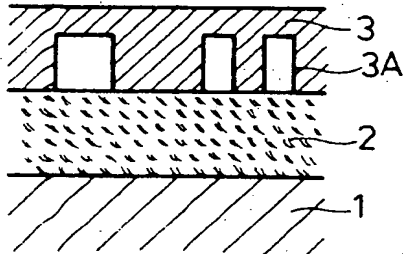


Fig. 3a

Fig. 3b

Fig. 3c

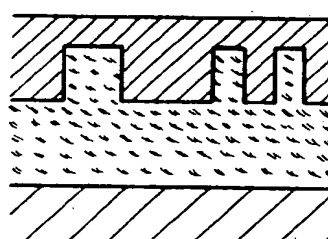
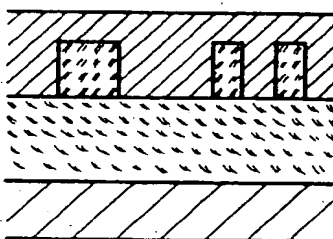
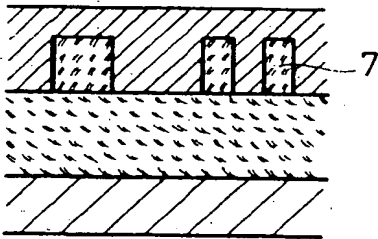


Fig. 4a

Fig. 4b

Fig. 4c

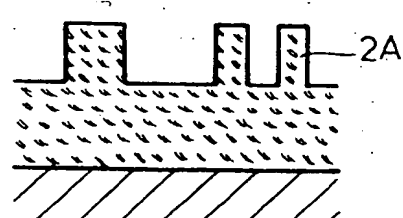
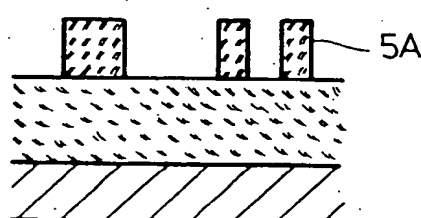
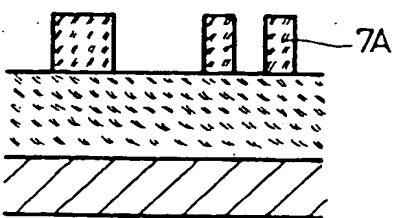


Fig. 5

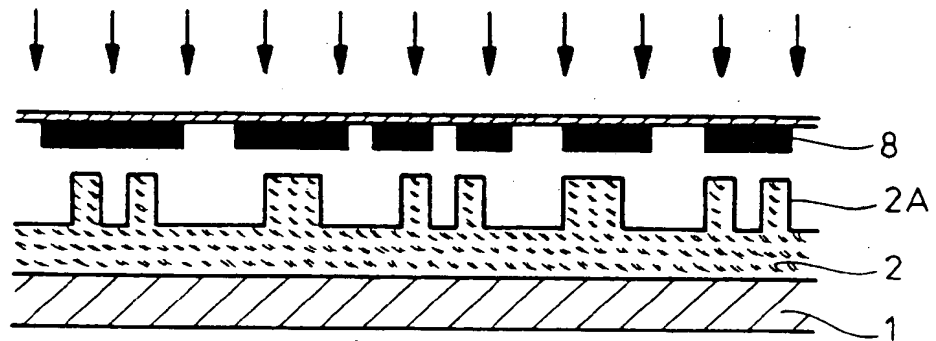


Fig. 6

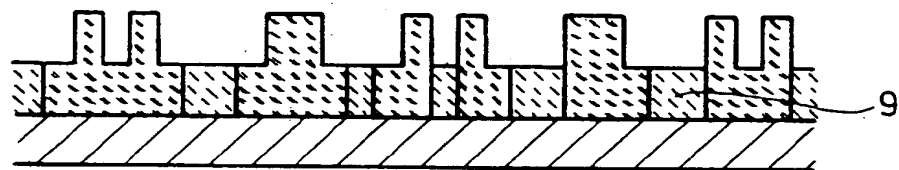


Fig. 7

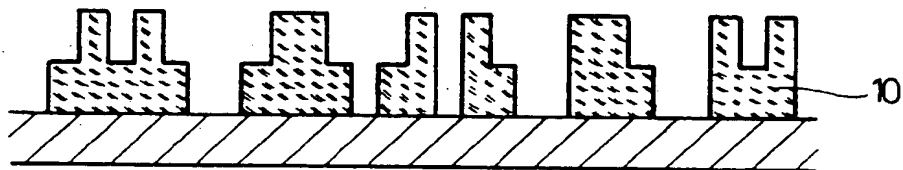


Fig. 8

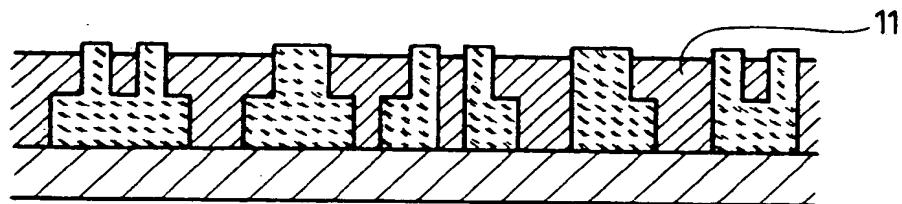


Fig. 9

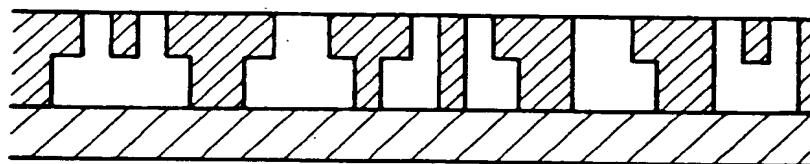


Fig. 10

